

Digitalizador 3D para Imagens Antropométricas do pé

Marta R. Bez, Luiza Seligman, Patricia S. Estivalet, Magali P. Silva

GPTI, Centro Universitário Feevale

Novo Hamburgo, RS, Brasil

{martabez; luizas; patriciae; magalipms}@feevale.br

Abstract

In this paper hardware and software systems is present to acquisition to feet anthropometrics measurements of Brazilians people. It knows itself that the feet are different, depending on diverse factors as sex, age, race, etc. This work consists of acquisition of plantar foot image with sensor type horizontal scanning and webcam to lateral image turn off foot. Within these images obtain measures of interest using to technical of triangularization to create a 3D model of foot.

Keywords: 3D Model, Triangularization, Shoe, Foot, Comfort.

Resumo

Este artigo apresenta um sistema de hardware e software para extrair medidas de pés da população brasileira. Sabe-se que os pés são diferentes, dependendo de diversos fatores como sexo, idade, raça, etc. Atualmente, pouco se tem levado em consideração estas diferenças no processo de construção do calçado brasileiro. A idéia é, colher uma imagem plantar do pé através de um scanner e ao mesmo tempo cinco imagens laterais através de uma câmera giratória. A partir destas imagens obter medidas de interesse e usando da técnica de triangularização gerar um modelo do pé em 3D, que possibilitará a confecção de formas de calçados na exata medida do pé.

Palavras chaves: Modelo 3D, Triangularização, Calçado, Pé, Conforto.

1 INTRODUÇÃO

Existe uma crescente preocupação com a melhoria de saúde populacional envolvendo diversas áreas das Ciências. Um dos problemas ainda incipientemente abordado no Brasil é a adequação dos calçados a diferentes tipos e dimensões de pés. Apesar da existência de conhecimento acadêmico sobre o assunto, a indústria do setor calçadista brasileiro ainda não tem acesso a tecnologias que permitam adequar o seu produto aos seus consumidores, por falta de uma cultura de interação entre empresas e instituições que desenvolvem pesquisa em ciência e tecnologia.

O conhecimento sobre as dimensões do pé humano e a distribuição de pressão plantar é de importância crucial para o desenvolvimento de fôrmas para calçados. Contudo, não existem informações confiáveis sobre as dimensões dos pés da população brasileira, gerando não-conformidade para o produto nacional em relação ao mercado. Pesquisas têm focado a carência de dados antropométricos e biomecânicos referentes à estrutura corporal dos brasileiros, tanto de adultos como de crianças [3, 10, 12, 13].

Outra dificuldade é o alto custo da coleta de dados antropométricos (medidas do corpo humano), que exige a utilização de equipamentos de digitalização. Atualmente, existem no mercado poucas opções de digitalizador para coleta de dados antropométricos do pé. São fornecidos por empresas de produtos e serviços para a indústria calçadista, como Shoemaster e Torielli, e empresas especializadas em coleta digital de dados antropométricos, como a Vitronic, todas estrangeiras. Esses produtos são inacessíveis à maioria das empresas do setor calçadista brasileiro, por conta do seu alto custo de aquisição.

Um digitalizador de baixo custo caracteriza-se por ser um produto para uso fora de ambientes de laboratório (acadêmicos ou industriais), podendo ser manipulado por pessoal sem qualificação específica, por meio de treinamento. Devido ao seu baixo custo de aquisição e de operação, pode ser incorporado a ambientes de lojas, passando a agregar valor ao produto, ao processo e ao serviço oferecido aos consumidores.

A medida que o entendimento do sistema musculoesquelético e a biomecânica do pé for aprimorada, o setor calçadista se beneficiará, aprimorando os modelos de calçados. Diariamente, o pé está submetido a situações de compressão dentro do calçado, em contato com superfícies rígidas ou irregulares, constantemente sujeito a pequenos traumas. Segundo Peneireiro e Lobo da Costa [10], quando inapropriado às características antropométricas dos pés e às necessidades específicas de movimento do indivíduo, o calçado pode produzir padrões de movimento inadequados que sobrecarregam as estruturas anatômicas, resultando em desconforto, dores ou mesmo lesões crônicas. Através de estudos sobre as características do pé humano pode-se buscar critérios de conforto e de segurança para confecção de calçados, os quais são objetos de interesse das indústrias calçadistas.

Assim, o desenvolvimento de um digitalizador 3D para imagens antropométricas do pé visa suprir essa lacuna, com um produto de baixo custo de implementação e de manutenção. Dessa forma, pretende-se oferecer às empresas nacionais o acesso a uma tecnologia que permite, não apenas a coleta de dados antropométricos dos pés de seus clientes, como também a constituição de bancos de dados relativos a amostras da população brasileira.

2 ESTRUTURA E ANTROPOMETRIA DO PÉ

As estruturas do pé são capazes de suportar forças acima de 4,5 vezes o peso do corpo. Estas estruturas são formadas por 26 ossos, que se articulam entre si, formando um complexo de 34 articulações, que colaboram para mudar, em um único passo, uma estrutura que se conforma às irregularidades do solo para uma estrutura rígida de sustentação de peso [1,4].

O pé pode ser separado em três segmentos: o antepé, o mediopé e o retropé. O antepé é formado por 19 ossos, sendo 14 falanges e cinco metatarsais. O segmento chamado de mediopé é formado por cinco, dos sete ossos do tarso: um cubóide, um navicular e três cuneiformes. E por último, os dois ossos que formam o retropé, tálus e calcâneo. [1,3]

Desta forma, os movimentos que ocorrem em cada articulação são considerados individualmente pequenos, porém quando combinados, geram uma grande amplitude de movimentos. Dentre esses, o pé realiza quatro movimentos básicos: supinação, pronação, flexão plantar e dorsiflexão.

Os movimentos de supinação e de pronação são realizados quando o pé não está recebendo carga. Na presença de carga e dependendo da sua magnitude e da distribuição da força de reação do solo sobre a região plantar do pé, estes movimentos têm suas amplitudes de movimento diminuídas [2].

A estrutura da planta do pé é sustentada por três arcos: arco longitudinal medial, arco longitudinal lateral e arco transverso. Juntos, os arcos longitudinais formam uma única estrutura arqueada, entre a parte pósterio-inferior do calcâneo e as cabeças dos metatarsos (Figura 1). O arco medial, o mais alto dos três, compreende a curva formada entre o calcâneo e a cabeça do primeiro metatarso e permite uma maior elasticidade ao pé durante a marcha. Já o arco lateral é mais baixo e mais rígido, sendo capaz de suportar a maior parte do peso corporal em posição ortostática, também conhecido como arco de apoio. Esse arco se estende do calcâneo até a cabeça do quinto metatarso. O arco transverso, por sua vez, é formado pelos ossos cuneiformes e pelo osso cubóide. [2]

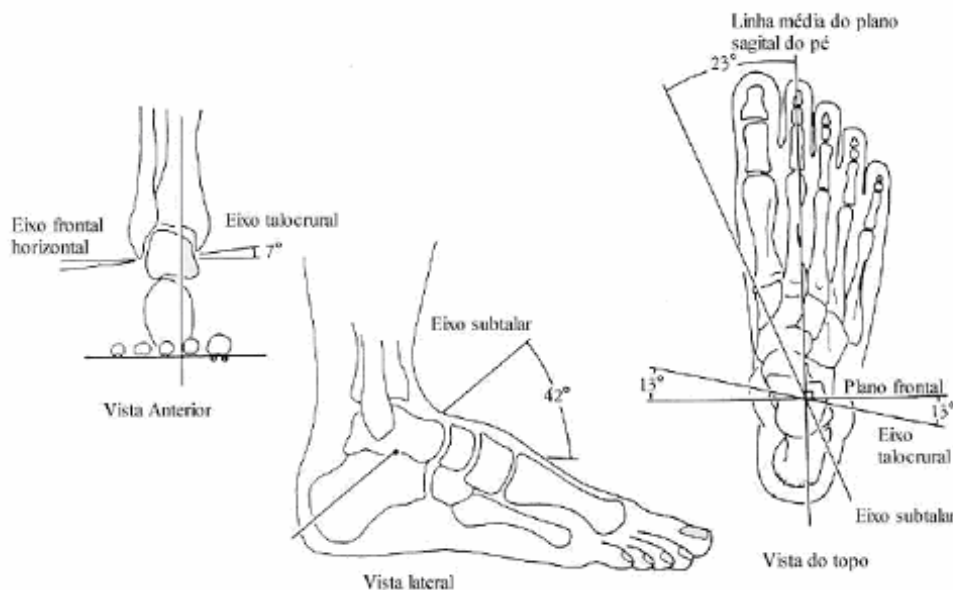


Figura 1: Eixos das articulações do tornozelo [20]

Um dos mais antigos estudos sobre a antropometria do pé humano refere-se a Hertzberg *et al.* [8], em que se determinaram 132 medidas do corpo, em mais de 4.000 sujeitos acima de 18 anos, das quais 8 eram referentes ao pé. O trabalho traz como medidas antropométricas o comprimento do pé, o comprimento do calcâneo até a cabeça do primeiro metatarso, o perímetro das cabeças dos metatarsos, a largura do pé, do calcanhar e entre os maléolos, além das alturas do maléolo lateral e do maléolo medial.

Buscando a caracterização do pé, foi realizada uma pesquisa por Rodriguez *et al.* [12] na qual se relacionavam parâmetros antropométricos do pé em crianças de diferentes populações em função de suas características morfológicas e antropométricas, de forma a estabelecer algumas relações entre os grupos selecionados.

Foram coletadas medidas antropométricas do pé humano, fornecendo subsídios para a melhoria na confecção de calçados e também para estabelecer um banco de dados a partir das variáveis e das características analisadas, que poderiam atender à fabricação de calçados conforme critérios de conforto, de saúde e de segurança [12].

Dentre os métodos que envolvem medição direta do pé, destaca-se o trabalho de Manna *et al.* [8], onde foi realizado um estudo comparativo das dimensões do pé de homens e de mulheres adultos e a avaliação dos problemas do pé no uso de calçados.

3 Reconstrução de Superfícies

Para a reconstrução de superfícies faciais, métodos mecânicos como o pletismógrafo digital foi desenvolvido por Milles *et al.* [9], onde um braço sensor com uma roda percorre a superfície facial num plano horizontal. Um transdutor elétrico-mecânico registra a posição do braço sensor e os sinais elétricos resultantes permitem a construção de curvas sobre a superfície facial e, conseqüentemente, o cálculo de volumes sob partes da face por integração numérica.

Uma metodologia de pesquisa que envolveu os princípios da fotografia de silhueta, registro em vídeo, estéreo-fotogrametria analógica e técnica de Moiré para reconstrução e análise de superfícies de segmentos do corpo humano foi desenvolvida com o auxílio de dois espelhos, um conjunto de imagem que produziam uma completa e simultânea vista tripla do segmento do corpo escolhido. O par de fotografias era digitalizado e as coordenadas dos pontos, medidas. Os dois espelhos foram utilizados para substituir o uso de duas câmeras [11].

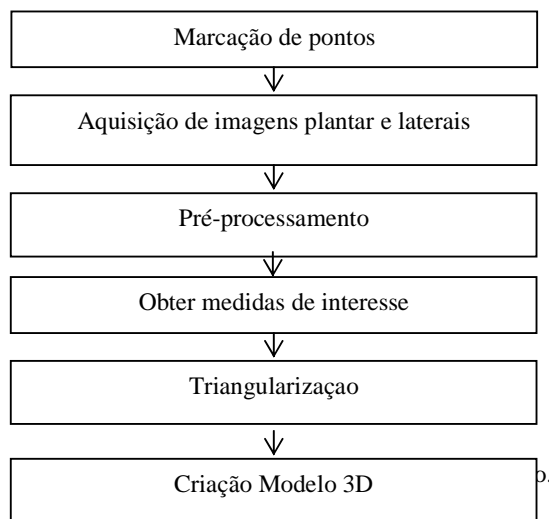
Frobin e Hierholzer [5] utilizaram conceitos de geometria diferencial de superfícies, para propor um método de avaliação da forma de superfície posterior do tronco, através de videogrametria, para obter as medidas de suas curvaturas de superfícies.

Um sistema de reconstrução e análise de superfície do pé humano chamado Scanner Óptico por Laser foi desenvolvido por Bergmann [19], onde um sistema óptico a laser faz uma varredura do pé gerando imagens tridimensionais, a partir de variadas angulações.

4 Proposta de Desenvolvimento

Para realizar a reconstrução em 3D, normalmente são utilizadas técnicas de modelagem de objetos e imagens, empregando grupos de primitivas geométricas (pontos, segmentos de retas, linhas poligonais, polígonos, poliedros e formas mais complexas como arcos de curvas, superfícies curvas e superfícies quádricas). Com as formas básicas é possível aplicar operações de translação, rotação, escala, movimentos de vértices e faces, mapeamento de superfícies com texturas, cores e iluminação.

A forma mais conhecida de criação de imagens 3D são os algoritmos de triangularização, que recebem listas de pontos representando os vértices da imagem e une o primeiro ponto da primeira lista com o primeiro ponto da segunda lista. Depois, une este ponto ao segundo ponto da primeira lista, prosseguindo assim até o final das duas listas e repetindo o processo para as próximas listas. Neste caso, existem problemas quando as duas listas não possuem o mesmo número de pontos ou quando estes pontos estiverem muito longe uns dos outros. Finalmente, os dados resultantes podem ser disponibilizados para uma modelagem usando uma linguagem de realidade virtual, VRML, por exemplo. Esse modelo é então passível de ser visualizado e "navegado" em um *browser* adequado ou exportado, via Internet. É apresentado a seguir o diagrama de blocos do sistema proposto:



4.1 Marcação de pontos

Para que um objeto possa ser modelado em 3D, faz-se necessário obter informações sobre o modelo. No caso do pé, para uma boa modelagem em 3D, devem ser obtidas informações em 2D das imagens plantar e laterais.

Com o objetivo de facilitar e manter a precisão nas medidas obtidas pelo scanner e pela câmera, devem ser marcados pontos de controle no pé. Estes marcadores são do tipo simples, de papel luminoso, cor amarela, colocado em pontos chave do pé, conforme mostrado na figura a seguir.



Figura 3: Marcação de pontos no pé.

4.2 Aquisição das imagens

O processo de aquisição das imagens se dá em dois momentos, após o pé ser colocado em uma plataforma. No primeiro momento um sensor de varredura horizontal capta imagens da face plantar do pé fornecendo informação qualitativa e quantitativa da distribuição da pressão plantar por meio do tratamento das imagens. Este sensor é um scanner HP Scanjet 2400 colorido (48 bits) com resolução 1200x1200dpis. No segundo momento um sensor vertical tipo CMOS, realiza a captação de imagens em uma rotação de 360° em torno do pé. Um motor de passo que controla este sensor permite que a cada 45° seja registrada uma imagem do pé, resultando em 8 imagens. Este sensor CMOS, do tipo webcam, tem resolução de até 1024 x 768 para captura de fotos.

Este sistema é acoplado a um computador que comanda os movimentos dos sensores por meio de um programa que capta as imagens e converte em arquivos tipo JPEG com os nomes de *plantar*, *lateral_0*, *lateral_45*, *lateral_90*, *lateral_135*, *lateral_180*, *lateral_225*, *lateral_270*, *lateral_315*.

A imagem *plantar* apresenta a planta do pé colorida, com diferentes cores, de acordo com a pressão exercida pelo pé no momento da pisada, ou seja, uma informação qualitativa dos pontos onde a pessoa força mais a pisada.

As imagens *lateral_x* apresentam as informações laterais do pé e serão utilizadas para as medidas de altura, comprimento, área, volume, etc.

4.3 Pré-processamento

A imagem quando obtida por sensores pode conter informações indesejadas que devem ser extraídas da mesma, para não comprometer seu processamento. Uma das primeiras tarefas a serem executadas é a filtragem através da extração dos ruídos das imagens.

Ruídos são informações indesejadas, que podem ter as mais diversas origens, sendo as principais, o ajuste do equipamento de digitalização e a qualidade do documento a ser digitalizado. Utilizando um algoritmo de filtragem pode-se obter uma imagem bastante melhorada, o que auxilia nas próximas fases do processamento.

Com a imagem limpa, sem ruídos, pode-se segmentá-la, obtendo as regiões de interesse da mesma através de algoritmos de detecção de bordas. Os principais passos para a detecção de bordas são: filtragem, realce e limiarização. A filtragem é necessária para reduzir o ruído presente na imagem, pois um ruído também irá apresentar mudança no gradiente e pode resultar em uma borda falsa, mas uma redução do ruído pode reduzir ou até mesmo eliminar bordas. O realce é o cálculo da magnitude do gradiente e a limiarização consiste em determinar quais bordas serão consideradas, pois não é possível saber o valor máximo da magnitude do gradiente que realmente corresponde a uma borda.

Segundo Canny [18], um bom algoritmo detector de bordas deve atender a três condições básicas: a) baixa taxa de erro: deve haver uma baixa probabilidade de falhar ao detectar verdadeiros pontos de borda e uma baixa probabilidade de detectar falsas bordas; b) localização: os pontos marcados como bordas devem estar o mais próximo possível do centro da verdadeira borda; c) resposta: deve haver apenas um máximo como resposta em uma borda. Além disso, foram modeladas matematicamente estas três condições e desenvolvido um detector considerado ideal que minimiza os ruídos e otimiza a localização das bordas na imagem [14].

O filtro ótimo construído por Canny pode ser aproximado pela primeira derivada da função gaussiana $G(x)$:

$$G'(x) = - \frac{x}{\sigma^3 \sqrt{2\pi} \ell^{\frac{x^2}{2\sigma^2}}} \quad [1]$$

e o gráfico, com desvio padrão igual a 1 é apresentado a seguir:

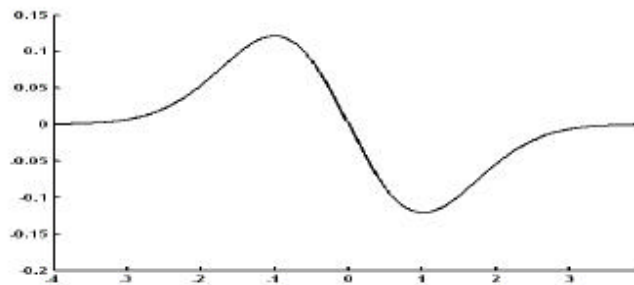


Figura 4: Primeira derivada da função Gaussiana

Esta é uma função separável, e pode ser aplicada em uma imagem (2D), nas linhas e em seguida nas colunas. O grau de suavização depende do desvio-padrão da função gaussiana. Quanto maior for o valor de σ , mais borrada é a imagem resultante e mais espessa se torna a borda, dificultando assim a sua localização exata. A localização exata de uma borda é o ponto onde sua derivada é um máximo local, devendo ser eliminados os pixels cujos valores não são máximos locais na direção perpendicular à borda. Assim, obtém-se um afinamento da imagem. Neste caso podem ocorrer bordas segmentadas e faz-se necessário realizar uma limiarização. Este processo deve ser aplicado na magnitude da imagem, usando dois Thresholds (T_a e T_b). Assim, em primeiro lugar, faz-se a limiarização a partir do limiar alto (T_a) em geral, entre 80% e 90%. Todos os pontos que estiverem acima de T_a serão classificados como pontos de borda, formando um conjunto $L1$. O limiar baixo (T_b) é utilizado para eliminar todos os pontos que estiverem abaixo de T_b . Geralmente, o valor utilizado para T_b é a metade ou um terço de T_a (CANNY, 1986). Para realizar a complementação das bordas, utilizam-se os pontos que ficaram entre T_a e T_b formando um conjunto $L2$, que será utilizado quando for encontrado uma descontinuidade da borda. Em [14] pode-se observar o algoritmo completo e a seguir é apresentado o resultado da extração de bordas na imagem dos pés.

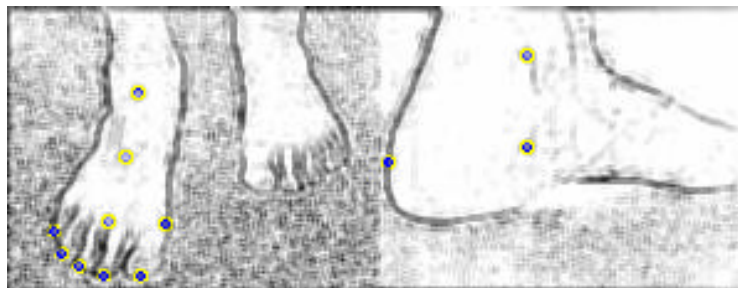


Figura 6: Extração de bordas da imagem por Canny.

4.4 Obter medidas de interesse

Com as imagens segmentadas em bordas é possível obter várias medidas de interesse deste projeto sobre o pé adquirido, sendo elas:

- comprimento do pé;
- largura do retropé;
- largura do antepé;

- altura do arco plantar a partir do cuneiforme medial.

Para tanto, basta calcular as distâncias entre as bordas da imagens nos pontos seleccionados, conforme demonstrado na figura a seguir:

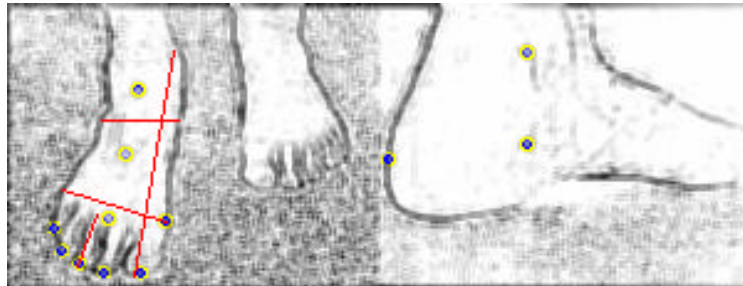


Figura 7: Exemplo de informações de interesse na imagem

4.5 Triangularização

De acordo com Kwon [16], pode-se, de forma simplificada relacionar um objeto e a imagem projetada conforme a figura a seguir:

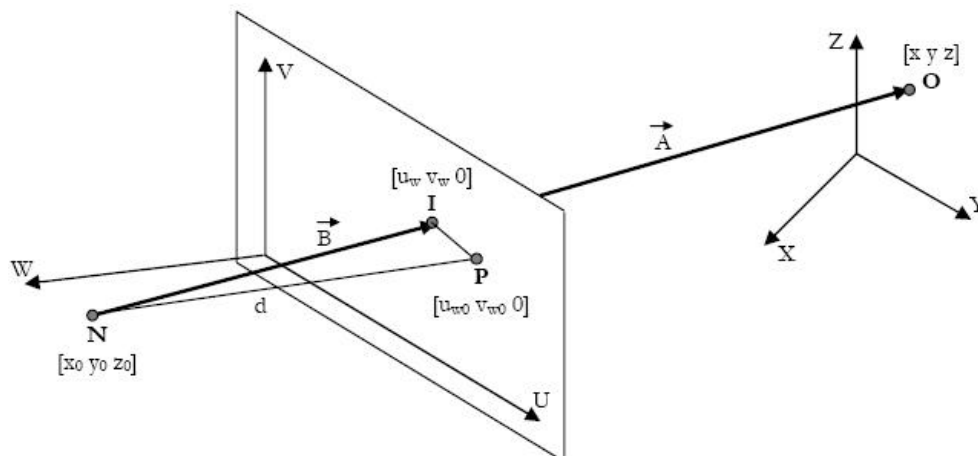


Figura 8: Sistemas de coordenadas do mundo e do plano imagem

O ponto O do objeto é projetado no ponto I do plano imagem. O centro da projeção (ponto N) forma uma linha reta com os pontos O e I , verificando a condição de colinearidade. Os sistemas de coordenadas do mundo (XYZ) e os sistema de coordenada do plano imagem são definidos. O ponto O é mapeado pelos sistemas ópticos do dispositivo de digitalização e do dispositivo de visualização, no sistema de coordenadas do mundo, no ponto I , no sistema de coordenadas do plano imagem. As coordenadas do ponto O no sistema de coordenadas do mundo são representados por $x y z$ e as coordenadas da imagem I no sistema de coordenadas do plano imagem são representadas por $u_w v_w$.

Sendo as coordenadas do centro de projeção N representadas por $x_0 y_0 z_0$, o vetor A , desenhado de N para O pode ser expresso por $x-x_0 y-y_0 z-z_0$. Sendo adicionado o eixo W ao sistema de coordenadas do plano imagem, conforme demonstrado na figura anterior, tornando-o tridimensional, as coordenadas em W dos pontos da imagem são sempre 0, e a posição 3D do ponto I é $u v 0$. O ponto P , ponto principal é localizado na intersecção do eixo principal com o plano imagem, sendo o eixo principal uma linha perpendicular ao plano da imagem e passando pelo ponto N . A distância entre os pontos P e N é chamada de *distância principal* e representada na figura por

d. Sendo as coordenadas do ponto P (ponto principal) no sistema de coordenadas do plano imagem representados por $u_0 \ v_0 \ 0$, as coordenadas do centro de projeção são $u_0 \ v_0 \ d$ e o vetor B de N para I terá as coordenadas $u-u_0 \ v-v_0 \ -d$.

Como os vetores A e B estão em sistemas de coordenadas diferentes, para que possam ser relacionados buscando a condição de colinearidade, é necessário expressá-los no mesmo sistema de coordenadas. Uma forma de fazê-lo é expressar o vetor A no sistema de coordenadas do plano imagem.

Sendo R a matriz de transformação do sistema de coordenadas mundo para plano de imagem, então:

$$A^{(I)} = R.A = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} . A \quad [2]$$

onde $A^{(I)}$ representa o vetor A descrito no sistema de coordenadas do plano da imagem.

A condição de colinearidade dos vetores A e B no mesmo sistema de coordenadas seria representado por:

$$B^{(I)} = cA^{(I)} \quad [3]$$

Então, substituindo [2] na condição de colinearidade [3] obtém-se:

$$B = cRA \quad \text{ou} \quad \begin{bmatrix} u_w & -u_{w0} \\ v_w & -v_{w0} \\ -d \end{bmatrix} = c \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x & -x_0 \\ y & -y_0 \\ z & -z_0 \end{bmatrix} \quad [4]$$

Reduzindo a forma de equações e resolvendo em ordem obtém-se o sistema:

$$\begin{aligned} c &= \frac{-d}{[r_{31}(x-x_0) + r_{32}(y-y_0) + r_{33}(z-z_0)]} \\ u_w - u_{w0} &= -d \frac{[r_{11}(x-x_0) + r_{12}(y-y_0) + r_{13}(z-z_0)]}{[r_{31}(x-x_0) + r_{32}(y-y_0) + r_{33}(z-z_0)]} \\ v_w - v_{w0} &= -d \frac{[r_{21}(x-x_0) + r_{22}(y-y_0) + r_{23}(z-z_0)]}{[r_{31}(x-x_0) + r_{32}(y-y_0) + r_{33}(z-z_0)]} \end{aligned} \quad [5]$$

Em Pereira (2004) pode-se observar o algoritmo utilizado para adaptar o fator de escala dos valores obtidos pela digitalização, uma vez que as unidades do digitalizador podem ser diferentes das unidades do sistema de coordenadas do mundo.

4.6 Reconstrução 3D do pé

Com base nas informações da triangularização, passa-se a fase da construção 3D do pé. Para a construção utiliza-se as informações da borda plantar da imagem obtida pelo scanner, relacionando-a com a marcas obtidas associadas a cada uma das imagens laterais. Em cada imagem lateral observam-se alguns pontos de marcação, de acordo com a posição da câmera. Por exemplo, se a câmera está em 0° ou seja, gerou a imagem *lateral_0*, a marca observada é a posicionada sobre o calcanhar. Associa-se o ponto plantar, com o ponto do calcanhar e este a próxima posição plantar, que, por sua vez, deve ser associada as marcas observadas na imagem *lateral_45*. A associação de

todos os pontos observados a cada imagem gerada com a plantar, permite gerar uma imagem armada do pé, que depois deve ser revestida de uma textura.

O sistema é desenvolvido em C++, utilizando a biblioteca OpenGL. O arquivo gerado desta etapa é um arquivo em VRML que pode ser disponibilizado para ser acessado em um plugin ou na própria internet.

6 CONCLUSOES

O artigo apresentou o projeto Digitalizador 3D para imagens antropométricas do pé, que está em desenvolvimento na Feevale. Algumas fases do projeto já estão concluídas e outras em desenvolvimento, motivo pelo qual não é possível apresentar as conclusões gerais do projeto e dados estatísticos finais sobre os pés analisados.

Foi realizada uma análise profunda sobre a estrutura e anatomia do pé humano, buscando aspectos importantes a serem analisados quando da confecção do modelo 3D, com o objetivo de fornecer a mobilidade e naturalidade ao modelo.

Um estudo sobre reconstrução de superfícies está em desenvolvimento nesta instituição, visando não somente o projeto do digitalizador 3D do pé, mas deixando as rotinas prontas para serem utilizadas na modelagem de qualquer objeto que não tem uma forma geométrica definida.

O primeiro protótipo de hardware desenvolvido é ainda bastante rústico, e está em fase de aprimoramento. Para testes de laboratório está muito bom, fornecendo imagens de qualidade suficiente.

A marcação de pontos é hoje manual e seu local ainda selecionado por aproximação. Espera-se, a partir do estudo da anatomia do pé, poder definir estes pontos de forma mais fidedigna.

As rotinas de extração de bordas das imagens estão concluídas e fornecem um resultado muito bom. Testes devem ser realizados com *snakes*, quando deve ser avaliada a qualidade das bordas em relação ao custo de processamento.

Os testes com a triangularização foram realizados com sucesso e atualmente está se buscando novos métodos, para que sejam feitos comparativos entre os mesmos.

Espera-se no final do projeto construir um banco de dados sobre medidas e tipos de pés humanos para as empresas calçadistas da região, bem como, poder fornecer o modelo 3D o mais aproximado possível do modelo original adquirido.

REFERENCIAS

- [1] BEHNKE, Robert S. **Anatomia do Movimento**. Porto Alegre: Artmed, 2004.
- [2] WATKINS, James. **Estrutura e Função do Sistema Musculoesquelético**. Porto Alegre: ARTMED, 2001.
- [3] MANFIO, Eliane Fátima. **Estudo de parâmetros antropométricos e biomecânicos do pé humano para a fabricação de calçados segundo critérios de conforto, saúde e segurança**. 1995. 112 p Dissertação (Mestrado em Ciência do movimento humano), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1995.

- [4] MACIEL, Anderson. **Modelagem de Articulações para Humanos Virtuais Baseada em Anatomia**. 2001. 111p. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.
- [5] FROBIN, W. And HIERHOLZER, E. **Analysis of human back shape using surface curvatures**. *Journal of Biomechanics*, v.15, n.5. 1982, pp. 379-390.
- [6] KRATKY, V. **Digital Modeling of limbs in Orthopaedics**. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 1975, pp. 741- 752.
- [7] MANFIO, E. F. **Estudo de Parâmetros Antropométricos e Biomecânicos do Pé Humano para a Fabricação de Calçados segundo Critérios de Conforto, Saúde e Segurança**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 1995, pp.39-40.
- [8] MANNA, I.;PRADHAN, D.; GHOSH, S.; KAR, S.K. & DHARA, P. **A comparative study of foot dimension between adult male and female and evaluation of foot hazards due using of footwear**. *Journal of physiological anthropology and applied human science*. v. 20, n.4, July 2001, pp. 241-246.
- [9] MILLES, M., DESJARDINS, P. J. & PAWEL, H. E. **The facial plethysmograph: a new instrument to measuring facial swelling volumetrically**. *Journal of oral and maxillofacial surgery*, v. 43, 1985, pp. 346-352.
- [10] PENEIREIRO, G., LOBO DA COSTA, P.H. **Estudo ergonômico dos carteiros pedestres: percepção de conforto e adequação à atividade profissional**. *Anais do I Simpósio Brasileiro de Biomecânica do Calçado*. Gramado, 2001, pp. 53-58
- [11] PROVENZANO, J. A. **Desenvolvimento de uma metodologia para reconstrução da superfície do pé humano por videogrametria**. UNICAMP – São Paulo, 2002.
- [12] RODRIGUEZ, M.D.; SACCO, I.C.N. & AMADIO, A.C. **Estudo biomecânico do índice do arco longitudinal plantar em crianças de diferentes grupos experimentais**. *Anais do VII Congresso Brasileiro de Biomecânica*. Campinas, 1997, pp. 394-400.
- [13] SÁ, M.R.; BRANDINA, K.; COSTA, P.H.L.; RODRIGUEZ M.D.; ÁVILA, A.O.V.; SERRÃO, J.C. & AMADIO, A.C. **Estudo descritivo de parâmetros antropométricos dos pés de crianças de 3 a 10 anos de idade**. *Anais do I Simpósio de Biomecânica do Calçado*. Gramado, 2001, pp 43-47.
- [14] VALE, G. M., DAL POZ, A. P. **O processo de detecção de bordas de Canny: fundamentos, algoritmos e avaliação experimental**. In: Simpósio Brasileiro de Geomática, Presidente Prudente, 2002. *Anais*. p.292-303, 2002.
- [15] Hertzberg, H.T.E., Daniels, G.S. and Churchill, E. **Anthropometry of Flying Personnel**, WADC Technical Report No 52-321, United States Air Force, Wright Air Development Center, Wright-Patterson Air Force Base, Ohio. 1954
- [16] Kwon, Young-Hoo. **Kown3D: DLT Method**. Disponível em: <http://kown3d.com/theories.html>. Acesso em 10/07/06.
- [17] Pereira, J. M. L. B. **Sistema VIDA: uma Visualização aumentada de dados biomecânicos**. Universidade Técnica de Lisboa. Março, 2004.

- [18] CANNY, J. A. **Computational approach to edge detection.** IEEE Trans. On Pattern Analysis and Machine Intelligence, v. PAMI-8(6), p. 679-698,1986.
- [19] BERGMANN, J.N. **Optical Laser Scanner.** Disponível em: www.bergmannlab.com.br. Maio, 2000.
- [20] KREIGHBAUM, E.; BARTHELS, K. M. **Biomechanics.** A qualitative approach for studying human movement. New York: Macmillan Publishing, 1990.